



VEILEDER

M-980 | 2018

# Spredningsberegning og bestemmelse av skorsteinshøyde



# KOLOFON

---

## Utførende institusjon

Norsk Energi og Norsk institutt for luftforskning (NILU)

## Oppdragstakers prosjektansvarlig

[Oppdragstakers prosjektansvarlig]

## Kontaktperson i Miljødirektoratet

Inger Karin Riise Hansen

## M-nummer

980

## År

2018

## Sidetall

22

## Miljødirektoratets kontraktnummer

17128235

## Utgiver

Miljødirektoratet

## Prosjektet er finansiert av

Miljødirektoratet

## Forfatter(e)

Dag Borgnes, Norsk Energi og Dag Tønnesen, NILU

## Tittel - norsk og engelsk

Spredningsberegning og bestemmelse av skorsteinshøyde

## Sammendrag

Tillatelser etter forurensningsloven og forurensningsforskriften kapittel 27 om forbrenning av rene brenslere stiller krav om bruk av spredningsberegninger for bestemmelse av bakkekonsentrasjoner og skorsteinshøyder.

Denne veilederen gir informasjon om regelverk om luftforurensning og forklarer hvordan spredningsberegninger skal utføres for å bestemme nødvendig skorsteinshøyde.

Veilederen er tiltenkt brukere av spredningsmodeller i konsulentbransjen, myndigheter, anleggseiere og interessegrupper.

## 4 emneord

Utslipp til luft, skorsteinshøyde, spredningsberegning, luftkvalitet

## 4 subject words

Emission, stack height, dispersion modeling, air quality

## Forsidefoto

Miljødirektoratet

# Innhold

1. Innledning.....	3
2. Grenseverdier, målsetningsverdier, reduksjonsmål og luftkvalitetskriterier .....	4
3. Maksimalt akseptabelt bakkekonsentrasjonsbidrag .....	6
4. Trinnvis veileder for bestemmelse av skorsteinshøyde .....	7
4.1 Sentrale begreper .....	7
4.2 Modeller for spredningsberegning .....	7
4.3 Hovedtrinn i spredningsberegningene .....	8
4.4 Inngangsdata til modellen .....	10
4.4.1 Meteorologidata .....	10
4.4.2 Utslipps- og utløpsdata .....	11
4.4.3 Terrengdata og arealbruk.....	12
4.4.4 Bygningsdimensjoner .....	12
4.4.5 Bakgrunnskonsentrasjoner .....	12
4.4.6 Nitrogenoksider og ozon.....	14
4.4.7 Bidrag i bratt/høyereliggende terreng .....	15
4.4.8 Bidrag ved luftinntak .....	15
4.4.9 Usikkerhet .....	15
5. Rapportering.....	17
6. Andre anvendelser av spredningsberegningene .....	18
Vedlegg .....	19
Vedlegg 1 Ordlister .....	19
Vedlegg 2 Beskrivelse av de mest brukte modellene.....	20
AERMOD (US EPA).....	20
CALPUFF (US EPA) .....	20

# 1. Innledning

Spredningsberegninger utføres blant annet i forbindelse med etablering av ny virksomhet med utslipp til luft, ved endring av utslipp eller utslippspunkt i eksisterende virksomhet, ved kartlegging av luftforurensningsbidrag fra eksisterende virksomhet og ved vurderinger av behov for tiltak.

Tillatelser etter forurensningsloven og forurensningsforskriften kapittel 27 om forbrenning av rene brensler stiller krav om bruk av spredningsberegninger for bestemmelse av bakkekonsentrasjoner og skorsteinshøyder.

Denne veilederen gir informasjon om regelverk om luftforurensning og forklarer hvordan spredningsberegninger skal utføres for å bestemme nødvendig skorsteinshøyde.

Veilederen er tiltenkt følgende målgrupper:

- Brukere av spredningsmodeller i konsulentbransjen
- Myndigheter (Miljødirektoratet, Fylkesmannen, kommuner)
- Anleggseiere
- Interessegrupper

Avsetningsberegninger og spredningsberegninger for mobile kilder som utslipp fra vei- og skipstrafikk, omhandles ikke av denne veilederen.

Denne veilederen erstatter veilederen TA-3038/2013.

## 2. Grenseverdier, målsetningsverdier, reduksjonsmål og luftkvalitetskriterier

Grenseverdier og målsetningsverdier for luftkvalitet er gitt i forurensningsforskriften kapittel 7<sup>1</sup>. Grenseverdiene for SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> og svevestøv (PM<sub>10</sub> og PM<sub>2,5</sub>) i uteluft er vist i tabell 1. I tillegg har forskriften grenseverdier for årsmiddel av bly og benzen samt 8-timersmiddel for CO.

Grenseverdier for SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> og svevestøv i forurensningsforskriften kapittel 7			
Komponent	Midlingstid	Grenseverdi	Antall tillatte overskridelser av grenseverdien
<i>Svoveldioksid</i>			
1. Timegrenseverdi for beskyttelse av menneskets helse	1 time	350 µg/m <sup>3</sup>	Grenseverdien må ikke overskrides mer enn 24 ganger pr. kalenderår
2. Døgn grenseverdi for beskyttelse av menneskets helse	1 døgn (fast)	125 µg/m <sup>3</sup>	Grenseverdien må ikke overskrides mer enn 3 ganger pr. kalenderår
3. Grenseverdi for beskyttelse av økosystemet	Kalenderår og i vinterperioden <sup>2</sup>	20 µg/m <sup>3</sup>	
<i>Nitrogen dioksid og nitrogenoksider</i>			
1. Timegrenseverdi for beskyttelse av menneskets helse	1 time	200 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub>	Grenseverdien må ikke overskrides mer enn 18 ganger pr. kalenderår
2. Årsgrenseverdi for beskyttelse av menneskets helse	Kalenderår	40 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub>	
3. Grenseverdi for beskyttelse av vegetasjonen	Kalenderår	30 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>x</sub>	
<i>Svevestøv PM<sub>10</sub></i>			
1. Døgn grenseverdi for beskyttelse av menneskets helse	1 døgn (fast)	50 µg/m <sup>3</sup>	Grenseverdien må ikke overskrides mer enn 30 ganger pr. kalenderår
2. Årsgrenseverdi for beskyttelse av menneskets helse	Kalenderår	25 µg/m <sup>3</sup>	
<i>Svevestøv PM<sub>2,5</sub></i>			
Årsgrenseverdi for beskyttelse av menneskets helse	Kalenderår	15 µg/m <sup>3</sup>	

Tabell 1 Grenseverdier for SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> og svevestøv i forurensningsforskriftens kapittel 7

<sup>1</sup>Grenseverdier luftkvalitet: Forurensningsforskriften kapittel 7. <http://www.lovdato.no/for/sf/md/td-20040601-0931-020.html>

<sup>2</sup> 1/10-31/3

Forskriften inneholder også et reduksjonsmål om at gjennomsnittlig bakgrunnskonsentrasjon av PM<sub>2,5</sub> i byområder ikke skal overstige 15 µg/m<sup>3</sup>. Innen 2020 skal gjennomsnittlig bakgrunnskonsentrasjon av PM<sub>2,5</sub> i byområder ikke overskride 9,3 µg/m<sup>3</sup>.

Målsetningsverdiene i forurensningsforskriften er vist i tabell 2. Det skal gjennomføres nødvendige tiltak for at forurensningskonsentrasjonen i utendørs luft ikke overstiger målsetningsverdiene, såfremt dette ikke vil innebære uforholdsmessig store omkostninger. Konsentrasjonene av arsen, kadmium, nikkel og benzo(a)pyren skal beregnes ut fra totalt innhold i PM<sub>10</sub>-fraksjonen, som gjennomsnitt over et kalenderår.

Målsetningsverdiene i forurensningsforskriften kapittel 7		
Komponent	Midlingstid	Målsetningsverdi
Arsen	Kalenderår	6 ng/m <sup>3</sup>
Kadmium	Kalenderår	5 ng/m <sup>3</sup>
Nikkel	Kalenderår	20 ng/m <sup>3</sup>
Benzo(a)pyren	Kalenderår	1 ng/m <sup>3</sup>

Tabell 1 Målsetningsverdier for tiltak for arsen, kadmium, nikkel og benzo(a)pyren

Miljødirektoratet og Folkehelseinstituttet har fastsatt luftkvalitetskriterier for en rekke komponenter i rapporten *Virkninger av luftforurensninger på helse (2013/9)*<sup>3</sup>. Luftkvalitetskriterier for NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> og svevestøv er vist i tabell 3. De mest brukte luftkvalitetskriteriene i spredningsberegninger er vist med uthevet skrift.

Luftkvalitetskriterier for NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> og svevestøv		
Komponent	Midlingstid	Luftkvalitetskriterier
NO <sub>2</sub>	15 min	300 µg/m <sup>3</sup>
	<b>Time</b>	<b>100 µg/m<sup>3</sup></b>
	År	40 µg/m <sup>3</sup>
SO <sub>2</sub>	15 min	300 µg/m <sup>3</sup>
	<b>Døgn</b>	<b>20 µg/m<sup>3</sup></b>
PM <sub>10</sub>	<b>24 timer</b>	<b>30 µg/m<sup>3</sup></b>
	År	20 µg/m <sup>3</sup>
PM <sub>2,5</sub>	<b>24 timer</b>	<b>15 µg/m<sup>3</sup></b>
	År	8 µg/m <sup>3</sup>

Tabell 2 Luftkvalitetskriterier for NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> og svevestøv

For utslippskomponenter som ikke er omhandlet i de norske grenseverdiene eller luftkvalitetskriteriene, bør man søke etter relevante grenseverdier eller kriterier fra andre land. Dersom andre relevante grenseverdier eller kriterier ikke finnes, kan man benytte 1/30 av grenseverdier for arbeidsmiljø<sup>4</sup>.

<sup>3</sup> Luftkvalitetskriterier: Folkehelseinstitutt og Miljødirektoratet: *Virkninger av luftforurensninger på helse*. Nasjonalt folkehelseinstitutt Rapport 2013/9.

<sup>4</sup> Forskrift om tiltaksverdier og grenseverdier for fysiske og kjemiske faktorer i arbeidsmiljøet samt smitterisikogrupper for biologiske faktorer (forskrift om tiltaks- og grenseverdier).  
<https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2011-12-06-1358>

### 3. Maksimalt akseptabelt bakkekonsentrasjonsbidrag

Forurensningsforskriften kapittel 27 regulerer forbrenningsanlegg/fyringsenheter for rene brenslere med innfyrt effekt på 1-50 MW. Forskriftens § 27-5 stiller krav om at utslippshøyden skal beregnes slik at bidraget fra forbrenningsanlegget/fyringsenheten normalt ikke overskrider 50 % av differansen mellom de luftkvalitetskriterier som til enhver tid er anbefalt av helse- og forurensningsmyndighetene og bakgrunnsverdien (heretter kalt 50%-regelen).

Eksempel: Dersom dimensjonerende parameter er  $\text{NO}_2$  og bakgrunnskonsentrasjonen er  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  betyr dette at bidraget fra skorsteinen ikke skal overskride  $(100-30)/2 = 35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

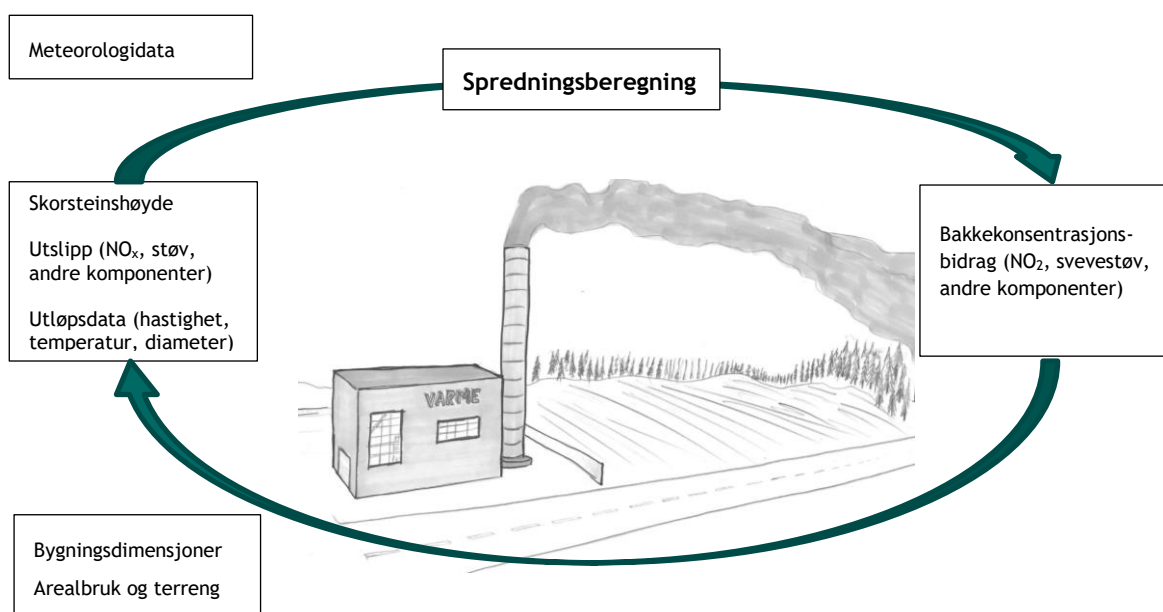
50%-regelen kan også benyttes for andre typer anlegg og utslippskomponenter så langt det er mulig og dersom ikke annet er angitt i bestemmelser vedrørende det spesifikke anlegget.

Forurensningsmyndighetene må kontaktes i hvert enkelt tilfelle dersom maksimalt akseptabelt bakkekonsentrasjonsbidrag overskrides.

## 4. Trinnvis veileder for bestemmelse av skorsteinshøyde

### 4.1 Sentrale begreper

Figur 1 viser noen sentrale begreper og viktigste inngangsdata ved beregning av bakkekonsentrasjonsbidrag og skorsteinshøyde. Begrepene og inngangsdataene vist i figur 1 er nærmere omtalt i kapittel 4.3 og 4.4.



Figur 1 Noen sentrale begreper og viktigste inngangsdata ved beregning av bakkekonsentrasjonsbidrag og skorsteinshøyde. Dersom bakkekonsentrasjonsbidraget er for høyt, utføres beregninger med økt skorsteinshøyde, redusert utslipp eller endrede utløpsdata.

### 4.2 Modeller for spredningsberegning

De enkleste modellene (screeningmodeller) har innebygget mer konservative anslag enn mer avanserte modeller, og krever mindre inngangsdata for bl.a. meteorologi. Screeningmodeller kan benyttes som et første trinn eller som eneste modellberegning dersom de anses å gi tilstrekkelig realistiske og akseptable resultater. US EPA har egen screeningmodell for AERMOD (AERSCREEN; etterfølger etter US EPAS Screen3).

Mer realistiske spredningsberegninger kan utføres ved hjelp av modeller som for eksempel US EPA-modellene AERMOD eller CALPUFF. AERMOD er US EPAs anbefalte modell for spredningsberegninger av mobile og stasjonære kilder i avstander opptil 50 km fra kilden.



CALPUFF benyttes i spesialtilfeller i nærområdet til kilden samt ved avstander over 50 km fra kilden.

Oversikt over spredningsmodeller og anbefalte anvendelsesområder er gitt på <http://www.luftkvalitet.info/ModLUFT/Modeller/MODELLOVERSIKT.aspx>

## 4.3 Hovedtrinn i spredningsberegningene

Følgende trinn inngår normalt i modellberegningene:

1. Legg inn utslippskilden med utslippsdata
2. Velg beregningsområde, legg på grid
3. Legg inn bygninger i nærheten
4. Legg inn arealbruk/markslagsdata
5. Legg inn terrengdata
6. Legg inn meteorologidata: timedata for beregningsperioden for avanserte modeller eller data for ulike meteorologiske situasjoner for screeningmodeller.
7. Legg inn bakgrunnskonsentrasjoner for dimensjonerende komponent og bestem akseptabelt bakkekonsentrasjonsbidrag basert på luftkvalitetskriteriet. Legg eventuelt inn ozonkonsentrasjonen dersom spredningen av NO<sub>x</sub>/NO<sub>2</sub> beregnes.
8. Velg midlingstid (timemiddel/døgnmiddel/årsmiddel) og høyeste og eventuelt n-te høyeste konsentrasjon)
9. Beregninger med forskjellige skorsteinshøyder. Bestemmelse av skorsteinshøyde

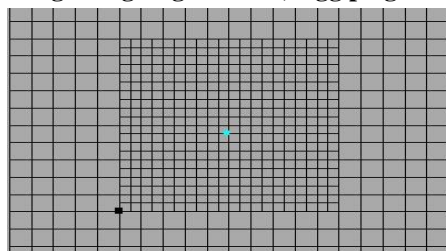
Spredningsmodellering med AERMOD og CALPUFF er vist i eksempelet i figur 2. Eksemplet omfatter utslipp av NO<sub>x</sub>, men tilsvarende fremgangsmåte benyttes for andre komponenter.

I kapittel 4.4 er de viktigste trinn i modellberegningen og inngangsdata ytterligere beskrevet.

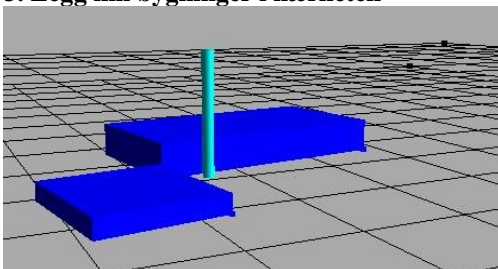
**1. Legg inn utslippsskilden med utslippsdata**

NO <sub>x</sub> -konsentrasjon (som NO <sub>2</sub> )	mg/Nm <sup>3</sup> , 3 % O <sub>2</sub> (timemiddel)
Røykgassmengde	Nm <sup>3</sup> /time
NO <sub>x</sub> -utslipp (som NO <sub>2</sub> )	g/s
Røykgasstemperatur	°C
Skorsteinsdiameter	m
Skorsteinshøyde	m
Røykgasshastighet	m/s

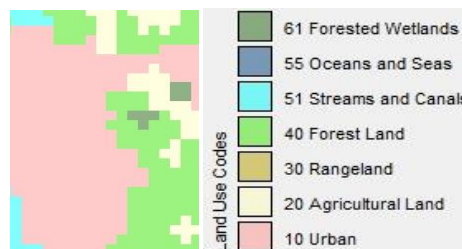
**2. Velg beregningsområde, legg på grid**



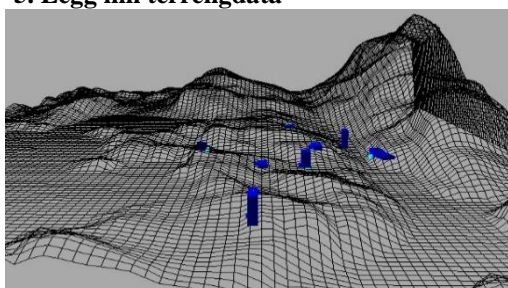
**3. Legg inn bygninger i nærheten**



**4. Legg inn arealbruk/markslagsdata**

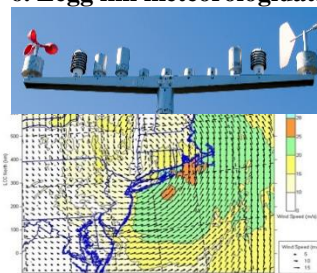


**5. Legg inn terrengdata**



→Kjør AERMAP/Geoprocessor  
 →Kjør bygningsprocessor (BPIP)

**6. Legg inn meteorologidata**

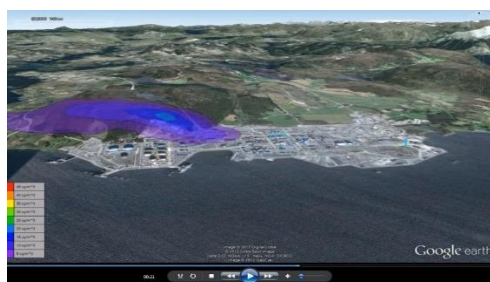


→Kjør AERMET/CALMET  
 Ikke nødvendig dersom AERMOD "ready" eller CALPUFF "ready" data benyttes.

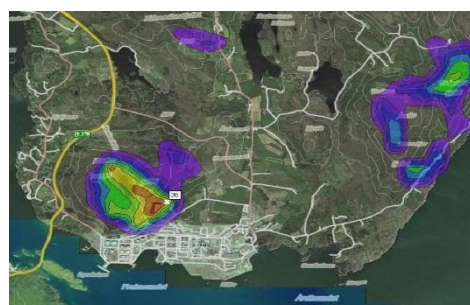
**7. Legg eventuelt inn bakgrunns- og ozonkonsentrasjoner dersom det beregnes NO<sub>x</sub>/NO<sub>2</sub>**

**8. Velg midlingstid (timemiddel/døgnmiddel/årsmiddel). Velg høyeste og eventuelt n-te høyeste konsentrasjon (for eksempel 19. høyeste).**

→Kjør AERMOD og 3DAnalyst / CALPUFF og CALPOST



Høyeste timemiddelbidrag i utvalgt time



og i hele beregningsperioden.

**9. Beregninger med forskjellige skorsteinshøyder. Bestemmelse av skorsteinshøyde**

Figur 2 Eksempel på spredningsmodellering med AERMOD og CALPUFF.

## 4.4 Inngangsdata til modellen

### 4.4.1 Meteorologidata

I modellene benyttes timedata for beregningsperioden (for eksempel AERMOD og CALPUFF) eller data for ulike kombinasjoner av vindhastighet og atmosfæriske blandingsforhold (for eksempel AERSCREEN og CONCX).

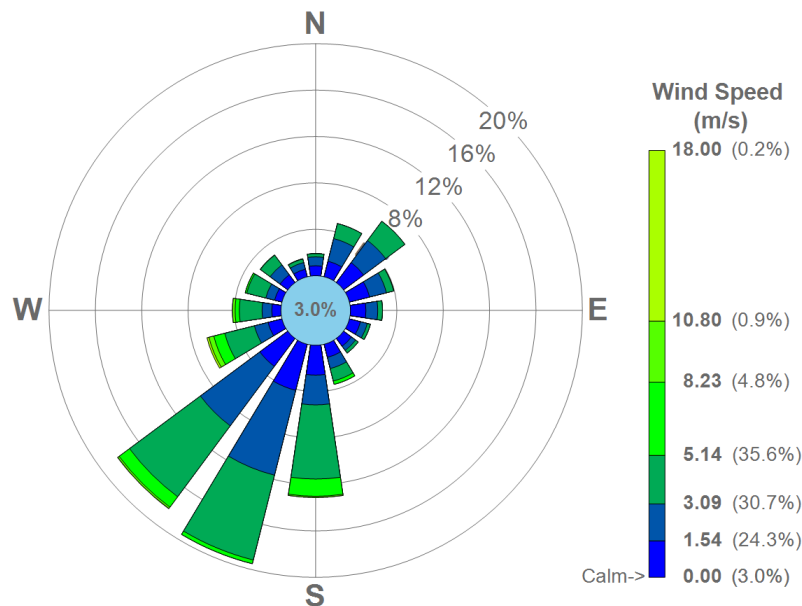
I *AERMOD* benyttes meteorologiske timedata fra *en* målestasjon med data for vindhastighet, retning og omgivelsestemperatur og observert skydekke. I tillegg benyttes blant annet overflateruhet ved generering av meteorologifiler for AERMOD. Overflateruheten er av stor betydning for den lokale meteorologien. Meteorologifiler for AERMOD kan enten genereres av den enkelte bruker av spredningsmodellen, eller de kan kjøpes som ferdige lokale meteorologifiler fra programvareleverandører som Trinity Consultants eller Lakes Environmental. I tilfeller med mangel på tilstrekkelig representative målte meteorologiske måldata, kan det benyttes modellerte meteorologiske data (for eksempel The Weather Research and Forecasting model, WRF).

Det meteorologiske feltet (3D) som benyttes i CALPUFF er produsert av en meteorologisk modell, CALMET. I CALMET kan man benytte målte meteorologiske data fra flere målestasjoner eller meteorologiske modeller som for eksempel WRF.

På grunn av få meteorologiske stasjoner i Norge, må det ofte benyttes stasjoner i noe avstand fra modellområdet. Vurdering av valg av meteorologistasjon for beregningene bør da omfatte følgende forhold:

- avstand til utslippsstedet
- avstand til kysten
- overflateruhet/arealbruk
- topografi
- høyde over havet
- datakvalitet/manglende data
- hvilke år er tilgjengelig

Vindroser med forklaringer og kommentarer for den valgte meteorologiske stasjonen og valgt år bør inkluderes i modellrapporten. Eksempel på vindrose er vist i figur 3.



Figur 3 Eksempel på vindrose (frekvensfordeling av vindretning og vindhastighet).

Vindroser viser hvilken retning vinden blåser *fra*. Figur 3 viser at snaut 20 % av vinden i løpet av året kommer fra sør-sørvest.

Normalt gir det tilstrekkelig nøyaktighet å benytte 1 eller 2 års meteorologidata (timedata) til beregninger av skorsteinshøyde. Erfaring viser at maks timemiddel normalt varierer lite fra år til år. Flere års meteorologidata vil redusere usikkerheten, men øker kostnadene. For beregning av byskala forurensing med flere kildegrupper bør det anvendes flere års data.

#### 4.4.2 Utslipps- og utløpsdata

Tabell 4 viser typiske utslipps- og utløpsdata for spredningsberegninger (eksempel for brenningsanlegg).

Utslipps- og utløpsdata	
Parameter	Enhet
NO <sub>x</sub> -konsentrasjon (som NO <sub>2</sub> )	mg/Nm <sup>3</sup> , 3 % O <sub>2</sub>
NO <sub>x</sub> -utslipp (som NO <sub>2</sub> )	g/s
Oksygenkonsentrasjon i røykgass	Vol %
Røykgassmengde	Nm <sup>3</sup> /time
Røykgasstemperatur	°C
Skorsteinsdiameter	M
Røykgasshastighet	m/s
Skorsteinshøyde	M

Tabell 4 Typiske utslipps- og utløpsdata for spredningsberegninger (forbrenningsanlegg)

I de aller fleste tilfeller bør timemidlet maksimal utslippskonsentrasjon og maksimal røykgassmengde benyttes (gir maksimalt utslipp i g/s). Som maksimal utslippskonsentrasjonen benyttes gjerne utslippsgrenseverdien, eventuelt kan garantiverdi eller lignende benyttes.

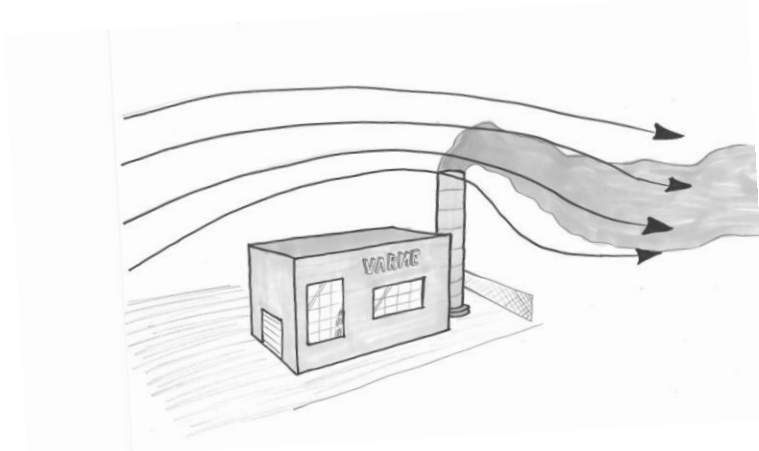
#### 4.4.3 Terrengdata og arealbruk

I avanserte modeller som AERMOD og CALPUFF benyttes digitale terrengdatafiler og data vedrørende arealbruk. Ved bruk av digitale terrengdatafiler er det viktig å være oppmerksom på endringer av terreng i forbindelse med utbygging. Dette må eventuelt korrigeres for i modellen.

Arealbruksinformasjonen benyttes til å bestemme overflateparametere. Overflateruheten har stor betydning for resultatet i spredningsberegningene. US EPA har detaljert veiledning knyttet til dette. Ved å benytte AERMOD-ready og CALPUFF-ready meteorologidata utarbeidet i henhold til US EPAs retningslinjer, sikres tilstrekkelig gode data for disse parametrene.

#### 4.4.4 Bygningsdimensjoner

Bygninger i nærheten av skorsteinen kan gi røyknedslag og dermed høye bakkekonsentrasjonsbidrag. Bygninger som er høyere enn halvparten av skorsteinshøyden må legges inn i modellen. Figur 4 viser røyknedslag som følge av bygningsturbulens. Pilene i figur 4 illustrerer at luftstrømmen kan endre retning og gi røyknedslag som følge av bygningsturbulens.

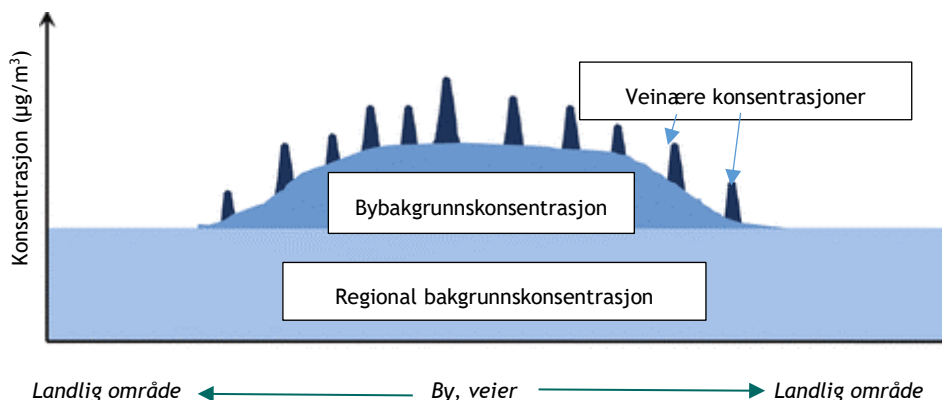


Figur 4 Røyknedslag som følge av bygningsturbulens

#### 4.4.5 Bakgrunnskonsentrasjoner

For beregning av skorsteinshøyde har man behov for bakgrunnskonsentrasjon av dimensjonerende parameter (vanligvis  $\text{NO}_2$  timemiddel eller svevestøv døgnmiddel).

Bakgrunnskonsentrasjoner av  $\text{NO}_2$  og svevestøv måles langt fra byer og tettsteder (regional bakgrunn), i byer og tettsteder i god avstand fra hovedutslippsskilder (bybakgrunn), samt ved veinære målestasjoner, se figur 5. Det finnes også noen målestasjoner i nærheten av større industriutslipp.



Figur 5 Regional bakgrunn, bybakgrunn og veinære konsentrasjoner

I mange tilfeller vil det ikke foreligge målte bakgrunnskonsentrasjoner for den aktuelle lokaliteten, og modellerte bakgrunnskonsentrasjoner må benyttes.

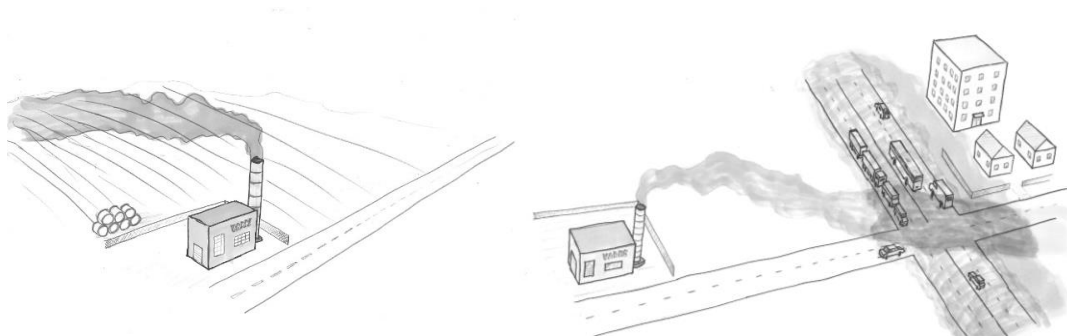
Modellert årsmiddelkonsentrasjon for  $\text{NO}_2$ ,  $\text{PM}_{10}$  og  $\text{PM}_{2.5}$  med romlig oppløsning på  $10 \times 10$  km kan lastes ned fra bakgrunnsapplikasjonen [www.luftkvalitet.info/ModLUFT](http://www.luftkvalitet.info/ModLUFT) under Inngangsdata/Bakgrunnskonsentrasjoner/"Bakgrunnsapplikasjonen". Velg «Download data» og beregn årsmiddel.

I tett befolkede områder og områder med store utslippskilder vil en romlig oppløsning på  $10 \times 10$  km (slik som i bakgrunnsapplikasjonen i ModLUFT) ikke være god nok til å dekke de reelle konsentrasjonsforskjellene. For slike områder bør man benytte data fra nærliggende målestasjoner dersom dette finnes eller fra <http://www.luftkvalitet-nbv.no/> (Nasjonalt Beregningsverktøy - NBV). NBV-data foreligger for de største byene og noen andre utvalgte områder.

Følgende faktorer bør benyttes ved estimering av timemiddel bakgrunnskonsentrasjon fra årsmiddelkonsentrasjon:

- bidrag nær sterkt trafikkert vei (årsdøgntrafikk over 20 000 kjøretøy pr døgn):
  - 4 x bakgrunnskonsentrasjon årsmiddel dersom ModLUFT-data eller NBV-data med  $1 \times 1$  km oppløsning benyttes
  - 2 x bakgrunnskonsentrasjon årsmiddel dersom NBV-data med  $100 \times 100$  m oppløsning benyttes
- 2 x bakgrunnskonsentrasjon årsmiddel i øvrige områder

Faktorene på 4 og 2 nær sterkt trafikkert vei ivaretar at modelldata med høy oppløsning gir høyere verdier enn modelldata med lav oppløsning. Se figur 6.



2 x bakgrunnskonsentrasjon årsmiddel

2 eller 4 x bakgrunnskonsentrasjon årsmiddel

Figur 6 Estimater for timemiddel bakgrunnskonsentrasjon

Estimatene for timemiddel bakgrunnskonsentrasjon representerer bidrag fra kilder som veitrafikk, boligoppvarming og langtransporterte luftforurensninger. Bidrag fra vei og boligoppvarming forekommer normalt ved andre meteorologiske forhold enn maksimalbidrag fra en høy skorstein. Dette er tatt hensyn til ved fastleggelse av estimatene.

I stedet for estimat basert på årsmiddel kan det benyttes timedata for bakgrunnskonsentrasjon basert på data fra nærliggende målestasjon, fra NBV eller tidsserier fra bakgrunnsapplikasjonen i ModLUFT.

I noen tilfeller kan det være nødvendig å inkludere flere av de andre utslippskildene i nærområdet i modellberegningene (andre stasjonære kilder, veitrafikk, skipstrafikk) for å få mest mulig realistisk bakgrunnskonsentrasjon og totalkonsentrasjon.

#### 4.4.6 Nitrogenoksider og ozon

Ca 5-10 % av  $\text{NO}_x$ -utslippet fra forbrenningsprosesser foreligger som  $\text{NO}_2$ , resten som  $\text{NO}$ .  $\text{NO}$  oksideres til  $\text{NO}_2$  ved hjelp av ozon ( $\text{O}_3$ ). Andelen som oksideres til  $\text{NO}_2$  avhenger av en rekke faktorer, blant annet vindhastighet, avstand fra kilden, solstråling og konsentrasjonen av ozon ( $\text{O}_3$ ) i omgivelsene.

Beregninger av omdannelsen fra  $\text{NO}$  til  $\text{NO}_2$  kan utføres ved hjelp av ett eller flere av følgende trinn:

- Beregninger med forutsetning om at all  $\text{NO}_x$  foreligger som  $\text{NO}_2$
- Beregninger med fast ozonkonsentrasjon
- Beregninger med timedata for ozon

Ozon ( $\text{O}_3$ ) verdier kan hentes fra <http://www.luftkvalitet.info/ModLUFT>, Inngangsdata/Bakgrunnskonsentrasjoner/"Bakgrunnsverdier Ozon 2009".

Det finnes tidsserier for regionale ozonmålinger fra norske bakgrunnsstasjoner. Dersom modellen **ikke** inneholder fotokjemiske reaksjoner bør det benyttes fullstendig oksidering i beregningene fordi det i de aller fleste tilfeller vil være nok  $\text{O}_3$  tilstede til å oksidere opp til  $50 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$ . Fullstendig oksidering innebærer å regne all  $\text{NO}_x$  i utslippet som  $\text{NO}_2$ .



#### 4.4.7 Bidrag i bratt/høyereliggende terreng

Ved bruk av modeller som gir konsentrasjoner time for time gjennom et år, kan man få enkelte høye verdier som ikke reduseres til akseptabelt nivå uten drastisk økning av skorsteinshøyde. Dette gjelder for eksempel i tilfeller med bratt/høyereliggende terreng i nærheten av utslippsstedet. I slike tilfeller kan det utføres beregninger for n. høyeste bakkekonsentrasjonsbidrag i hvert enkelt punkt (for eksempel nest høyeste, 6. høyeste 18.høyeste...). Resultatene bør deretter vurderes opp mot respektive skorsteinshøyder.

#### 4.4.8 Bidrag ved luftinntak

I noen tilfeller kan det være aktuelt å undersøke bidrag ved luftinntak eller uteoppholdsplasser. Siden luftinntakene ofte er plassert høyt på bygningene, vil det modellerte maksimalbidraget fra skorsteinsutslipp kunne bli relativt høyt. Samtidig vil rykfanen treffe luftinntaket svært sjelden.

Første avsnitt i § 27-5 c i forurensningsforskriften omtaler luftinntak:

*«For nye forbrenningsanlegg/fyringsenheter 1 < 5 MW skal skorsteinshøyden fastsettes ut fra spredningsberegninger eller andre metoder basert på utslippets størrelse, høyde på nærliggende bygg, luftinntak og topografi, samt avstand til disse.»*

Retningslinje for behandling av luftkvalitet i arealplanlegging (T-1520) inneholder anbefalte grenser for NO<sub>2</sub> årsmiddel og vintermiddel og PM<sub>10</sub> døgnmiddel. Verdiene bør være tilfredsstillende på uteareal og ved luftinntak til bygninger. Normalt vil skorsteinutslipp gi svært moderate bidrag til disse. Bidraget til NO<sub>2</sub>-timemiddel kan imidlertid være signifikant.

Beregninger med såkalte «flagpole receptors» (reseptor over bakkenivå) kan benyttes for å bestemme bidrag på balkonger, takterrasser og ved luftinntak. Når flagpole-reseptorer benyttes skal bidrag ved reseptorene være lavere enn aktuelle luftkvalitetskriterier.

#### 4.4.9 Usikkerhet

Usikkerheten i beregnet bakkekonsentrasjonsbidrag ved bruk av spredningsberegningmodeller er knyttet til følgende forhold:

- Kvalitet på inngangsdata: Utslippsdata, meteorologidata, reseptordata og terrengdata
- Anvendelsesområde. Høyeste korttidsmiddelverdi, korttidsmiddelverdi på spesifikt sted eller årlig middelverdi på spesifikt sted.
- Matematiske formler i modellen. Hvor godt beskriver formlene i modellen virkeligheten

I tillegg til usikkerhetsfaktorene nevnt ovenfor kommer såkalt "inherent uncertainty" (iboende usikkerhet), dvs. usikkerhet som skyldes at spredningen reelt varierer ved samme meteorologiske forhold.

I US EPA Guideline on Air Quality Models (2005), som omfatter bl.a. AERMOD refereres resultater fra studier av usikkerhet i modellene:

- modellene er bedre egnet til å estimere gjennomsnittskonsentrasjoner for lengre perioder enn for estimering av korttidskonsentrasjoner på bestemte steder;



- modellene er rimelig pålitelige når det gjelder å estimere størrelsen på høyeste konsentrasjoner som forekommer en gang, et sted innenfor et område (feil på høyeste estimerte konsentrasjoner på  $\pm 10$  til 40 prosent er funnet å være typisk);
- beregnede konsentrasjoner på et bestemt tidspunkt, på et bestemt sted er dårlig korrelert med faktisk observerte konsentrasjoner og har stor usikkerhet;
- usikkerhet på fem til ti grader i målt vindretning som transporterer plumen, kan føre til konsentrasjonsfeil på 20 til 70 prosent for bestemt tid og sted, avhengig av stabilitet og stasjonens plassering. Slike usikkerheter betyr ikke at estimert konsentrasjon ikke forekommer, men at tid og sted for denne er usikker;
- US EPA har estimert at selv for en perfekt modell kan iboende usikkerhet alene medføre typisk avvik fra sann konsentrasjon på opptil  $\pm 50$  %.

## 5. Rapportering

Rapporten bør ha følgende hovedinnhold:

- sammendrag
- tekniske data og utslippsdata
- grenseverdier og luftkvalitetskriterier
- bakgrunnskonsentrasjoner
- beregningsforutsetninger
- resultater fra spredningsberegninger (beskrivelse av beregningsmetodikk, beregningsforutsetninger, resultater fra spredningsberegninger)
- bestemmelse av skorsteinshøyde (forenklinger og forutsetninger som ligger til grunn for anbefalt skorsteinshøyde må fremkomme)

Geografiske/topografiske forhold og spredningsforhold må beskrives. Vindstatistikk fremstilles i vindrose.

Resultatene fra spredningsberegningene presenteres normalt i form av isolinjer som viser bakkekonsentrasjonsbidrag i ulike avstander fra utslippsstedet eventuelt nomogram som viser bakkekonsentrasjonsbidrag i ulike avstander fra utslippsstedet.

Usikkerhet knyttet til inngangsdata, anvendelsesområde og modellen beskrives.

## 6. Andre anvendelser av spredningsberegningene

For noen komponenter kan det være aktuelt å utføre avsetningsberegninger (beregninger av mengde som avsettes på bakken). Dette kan gjøres ved tilleggsberegninger til spredningsberegningene for bakkekonsentrasjonsbidrag. Avsetningsberegninger er ikke nærmere beskrevet i denne veilederen.

Spredningsberegningene kan utføres for andre typer stasjonære utslipp enn skorsteinsutslipp som for eksempel horisontale eller vertikale ventilasjonsåpninger eller lyrer. For slike anvendelser henvises til US EPAs og /eller modelleverandørens anvisninger.

AERMOD er velegnet til spredningsberegninger for mobile kilder som veitrafikkutslipp og utslipp fra fartøy. Slike beregninger er ikke nærmere beskrevet her.

# Vedlegg

## Vedlegg 1 Ordliste

Nedenfor er det gitt en forklaring på de ord og uttrykk som brukes i denne veilederen.

Bygningsprossessor	Beregningsrutine i AERMOD og CALPUFF for å beregne bygningens påvirkning på luftstrømning.
Effektiv utslippshøyde	Dette er summen av den fysiske høyden av skorsteinen og den tilleggshøyden utslippet vil få på grunn av termisk energi og massefart det har ved skorsteinsmunningen.
«Flagpole receptor»	Reseptor over bakkenivå. Benyttes for å beregne konsentrasjonsbidrag ved luftinntak og uterom (balkonger, takterrasser)
Grenseverdi	En grense for hva som er lovlig konsentrasjon i luft av en definert forurensningskomponent.
Grid	Et (oftest) rektangulært sett av beregningspunkter som brukes i modellene til å løse de ulike ligningene. Disse er ofte definert med lik avstand mellom punktene horisontalt, men med ulik (og mindre) avstand mellom punktene vertikalt.
Komponenter	Ulike kjemiske forbindelser eller partikler i ulike klasser av størrelse.
Luftforurensning	Fremmedstoffer i luften som kan virke på menneskers helse og trivsel, eller er til skade for klima, dyr, planter, materialer eller andre deler av omgivelsene.
Markslagsdata	Kode for terrenntype innenfor et gitt klassifiseringsskjema (for eksempel sjø, skog, bebygget).
Middelverdier	Gjennomsnittlig konsentrasjon over et bestemt tidsintervall, f.eks. timesmiddelverdi - gjennomsnittlig konsentrasjon over en time. Døgnmiddelverdi og årsmiddelverdi er ofte brukte størrelser i luftkvalitetsberegninger.
Nomogram	En figur som viser en enkel sammenheng mellom to størrelser under gitte forutsetninger.
Overflateruhet	Et uttrykk for bakkens ujevnhet skalert i forhold til hvordan friksjon mot bakken virker på luftbevegelsen.
Reseptor	”Mottaker” - I modellsammenheng et definert beregningspunkt, bestemt på forhånd av spesifikke årsaker.
Spredningsmodeller	Et sett av matematiske formler som gjennom forenklinger brukes til å beskrive forholdet mellom utslipp og forekommende konsentrasjon som følge av utslippet.
Svevestøv	Fellesbetegnelse på små partikler som kan holde seg svevende i luften over lang tid, og som er så små at de kan pustes inn.
Stabilitet	Et uttrykk for atmosfærens blandingsevne, stabilt - liten blandingsevne, ustabil - stor blandingsevne.
Turbulens	Uordnet luftbevegelse, knyttet til stabilitet ved at det er mindre uordnet bevegelse under stabile enn under ustabile forhold.

## Vedlegg 2 Beskrivelse av de mest brukte modellene

### AERMOD (US EPA)

AERMOD er en steady-state Gaussisk plume-modell. Effekter av ulike overflateruheter og andre overflateegenskaper kan ivaretas. Røyknedslag som følge av bygningsturbulens beregnes ved hjelp av PRIME algoritmen. Modellering av kysteffekter er ikke inkludert.

Omdannelse fra NO til NO<sub>2</sub> kan beregnes ved hjelp av tre ulike metoder; Plume Volume Molar Ratio Method (PVMRM), Ambient Ratio Method (ARM) og Ozon Limiting Method (OLM). Middelerverdier fra 1-time til årlig gjennomsnitt kan beregnes.

I AERMOD benyttes meteorologiske timedata fra *en* målestasjon med data for vindhastighet, retning og omgivelsestemperatur og observert skydekke. I tilfeller hvor det er mangel på representative målte meteorologiske data, benyttes modellerte meteorologiske data (for eksempel The Weather Research and Forecasting model, WRF). AERMOD brukes i USA og flere andre land som myndighetsgodkjent modell.

AERMOD gir mulighet for å beregne bakkekonsentrasjoner for tilfeller der en får røyknedslag pga. turbulens og le-virvler bak bygninger. I modellen kan man ta hensyn til terreng i beregningene ved å benytte digital terrengmodell for aktuelt område.

AERMOD revideres normalt årlig eller oftere.

### CALPUFF (US EPA)

CALPUFF er en non-steady-state modell som kan anvendes på skalaer fra noen titalls meter til hundrevis av kilometer fra en kilde. Det meteorologiske feltet (3D) som benyttes i CALPUFF er produsert av en meteorologisk modell, CALMET, som inkluderer en diagnostisk vindfeltmodell. CALMET kan også benytte meteorologiske modeller som for eksempel WRF.

Gasser eller partikler som er inerte eller kan simuleres med lineære kjemiske reaksjoner, kan modelleres med CALPUFF.

I USA benyttes CALPUFF til avstander på 10-50 km fra utslippskilden. Dessuten benyttes den på "case by case basis" for nærområdet til en utslippskilde dersom det kan påvises at modellen er mer hensiktsmessig enn AERMOD for det aktuelle tilfellet.

Noen eksempler på tilfeller der CALPUFF kan være egnet:

- Spredningsberegninger for nærområdet ved komplekse spredningssituasjoner
  - komplekst terreng (terreng over utslippspunktet)
  - stagnasjon, inversjon, resirkulering, og ved forhold der inversjonene brytes opp
  - over vannflater og ved kysten
  - lave vindhastigheter og vindstille
- spredningsberegninger for lengre avstander fra kilden

- sikturderinger og ved vurdering av spesifikke områder i konsekvensutredninger
- dannelse av sekundære forurensninger og svevestøv
- arealkilder og linjekilder; (linjekilder med temperatur over omgivelseslufttemperatur)

### Miljødirektoratet

**Telefon:** 03400/73 58 05 00 | **Faks:** 73 58 05 01

**E-post:** [post@miljodir.no](mailto:post@miljodir.no)

**Nett:** [www.miljødirektoratet.no](http://www.miljødirektoratet.no)

**Post:** Postboks 5672 Torgarden, 7485 Trondheim

**Besøksadresse Trondheim:** Brattørkaia 15, 7010 Trondheim

**Besøksadresse Oslo:** Grensesvingen 7, 0661 Oslo

Miljødirektoratet jobber for et rent og rikt miljø. Våre hovedoppgaver er å redusere klimagassutslipp, forvalte norsk natur og hindre forurensning.

Vi er et statlig forvaltningsorgan underlagt Klima- og miljødepartementet og har mer enn 700 ansatte ved våre to kontorer i Trondheim og Oslo, og ved Statens naturoppsyn (SNO) sine mer enn 60 lokalkontor.

Vi gjennomfører og gir råd om utvikling av klima- og miljøpolitikken. Vi er faglig uavhengig. Det innebærer at vi opptre selvstendig i enkeltsaker vi avgjør, når vi formidler kunnskap eller gir råd. Samtidig er vi underlagt politisk styring. Våre viktigste funksjoner er at vi skaffer og formidler miljøinformasjon, utøver og iverksetter forvaltningsmyndighet, styrer og veileder regionalt og kommunalt nivå, gir faglige råd og deltar i internasjonalt miljøarbeid.